

VŠB – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Tváření austenitických plechů pomocí kapaliny

Forming of Austenitic Sheet Metals Using Liquid

Student: Bc. Petr Molnár

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Molnár**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Tváření austenitických plechů pomocí kapaliny**
Forming of Austenitic Sheet Metals Using Liquid

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie lisování kapalinou nerezových plechů
2. Analýza konstrukce nástroje, polotovaru a výrobního postupu
3. Identifikace výskytu nestabilního chování nerezového plechu
4. Ovlivnění kvality výlisku řízením parametrů hydraulických prvků
5. Technicko-ekonomické hodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.
PETRUŽELKA, J., BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2001. 115 s.
HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2002. 173 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

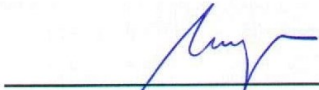
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**


Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015





doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry

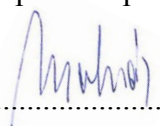


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

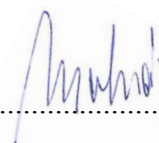
V Ostravě 22.5. 2015


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22. 5. 2015



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Molnár

Adresa trvalého pobytu autora práce: Těšetice 120, 783 46

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MOLNÁR, P. Tváření austenitických plechů pomocí kapaliny: diplomová práce, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 47 s. Vedoucí práce: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá tvářením austenitických plechů pomocí kapaliny. Byl sledován vstupní materiál, jeho chemického složení a mechanické vlastnosti, jednotlivé fáze expandování a stabilita stávajícího procesu. Byl popsán nástroj a byla identifikována kvalita výlisku za pomoci řízení hydraulických prvků. Na závěr je shrnutí dosažených výsledků pro ovlivnění kvality výlisku za pomoci řízení parametrů expandování a návrhy na zlepšení a zvýšení stability procesu.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

MOLNÁR, P. Forming of Austenitic Sheet Metals Using Liquid: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2015, 47 p. Thesis head: Hrubý, J.

Diploma Thesis deals with the Forming of austenitic sheet metals using liquid. The introduction describes input material, its chemical constitution and mechanical properties, expansion of individual phases and the stability of the current process. Described tool and the identified quality stamping part with the aid of hydraulic control elements. At the end is a summary of achievements in influencing the quality of stamping part the help parameter control expansion and proposals to improve and increase process stability.

OBSAH:

Seznam použitých symbolů.....	7
1. Úvod	8
2. Rozbor stávající technologie lisování kapalinou nerezových plechů	9
2.1 Vstupní materiál, jeho chemické složení a mechanické vlastnosti.....	9
2.2 Příprava polotovaru pro expandování	16
2.3 Jednotlivé fáze expandování.....	19
2.4 Rozdíl mezi teoretickým a skutečným průběhem expandování	22
3. Konstrukce nástroje a analýza hydraulického zapojení	24
3.1 Schéma principu nástroje	24
3.2 Řez jádrem nástroje a jeho popis.....	25
3.3 Popis hydraulického okruhu	28
4. Identifikace kvality výlisku řízením parametrů hydraulických prvků	29
4.1 Kvalita vstupního materiálu a její spojitost s kvalitou výrobku	29
4.2 Vady vzniklé při expandování.....	33
5. Ovlivnění kvality výlisků řízením parametrů hydraulických prvků	36
5.1 Identifikace a řešení prasklin při procesu expandování	36
5.2 Vliv kvality expandovací emulze	40
6. Závěr	43
6.1 Technicko – ekonomické zhodnocení	43
6.2 Závěr pro realizaci v praxi.....	44
7. Poděkování	45
8. Seznam použité literatury	46

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

	Písmena latinské abecedy	
A	Tažnost	[%]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _e	Mez kluzu	[MPa]
E	Modul pružnosti	[GPa]
HRB	Tvrdost podle Brinella	[-]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
ψ	Poměrné zúžení	[%]
s	Čas v sekundách	[-]
μS	Mikrosiemens	[m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²]
Z	Hloubka vniknutí střižných hran	[mm]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
ξ	Úhle roviny pro odtržení	[°]
k ₁	Součinitel vniknutí střižných hran	[-]
α	Střižná mezera	[mm]
μS	Mikrosiemens	[m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²]

1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou tváření austenitických plechů pomocí kapaliny. Jedná se o problematiku s kvalitou vstupního materiálu (chemické složení a mechanické vlastnosti, vhodná kolmost a rovinnost přístřihů, kvalita stříhu s co nejmenším otřepem – vliv na svar), dále s kvalitou vstupního polotovaru po stáčení – nastavení stáčečky, svařovací roviny po stočení plechu a následná kvalita laserového svaru – expandováním se v podstatě provádí destruktivní zkouška ve svaru, takže je velmi důležité mít pro tento proces kvalitní svar. V tomto procesu dále záleží na optimální volbě parametrů pro expandování – úhel pro otevření klapky na čerpadle a jeho doba otevření, tlaky oleje pro výtlak emulze a jeho doba působení, tlaky kapaliny (emulze) na jednotlivé fáze tváření plechu (expandování). Denní produkce jednotlivých dílů pro každý typ daného typu přístroje (celkem jsou tři typy) je okolo šesti set kusů. Následně se tyto výlisky montují do přístrojů.

Cílem této diplomové práce je optimalizovat tvářecí parametry expandování pro danou šarži plechových přířezů s ne vždy vhodnými mechanickými vlastnostmi a chemickým složením. Pro nalezení daných tvářecích parametrů bude tedy třeba zjistit průběh expandování a kvalitu vyexpandovaného dílu v závislosti na vstupním materiálu.

2. ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ KAPALINOU NEREZOVÝCH PLECHŮ

2.1 Vstupní materiál, jeho chemické složení a mechanické vlastnosti

Základním vstupním materiálem je plech nerez válcovaný za studena s hladkým povrchem, značený dle normy ČSN 10088-1: 1.4301+2B (matný povrch), alternativně 2R lesklý povrch (X5CrNi18-10). V praxi varianta povrchu 2B vykazuje vyšší stabilitu procesu expandování než povrch 2R. Jedná se o chrom niklovou austenitickou stabilizovanou ocel titanem a vanadem, známou také jako ČSN 17240. Velmi často se používá v oblasti potravinářství, pro výrobu přístrojů a zařízení pro domácnost, nádobí a zařízení vyvařoven. Jedná se o nejvíce rozšířenou a používanou korozivzdornou ocel na trhu. Tato ocel má nízký obsah uhlíku a díky tomu je dobře svařitelná. Vzhledem k tomu, že má tato ocel velmi dobrou tažnost, tak se vyznačuje velmi dobrou tvářitelností, dobře se ohýbá a ohraňuje. Při procesu sváření může docházet ke zpevňování. Odolává teplotám do 350°. Ocel se vyznačuje velmi dobrou odolností proti vodě, vodní páře, vlhkosti vzduchu, jedlým kyselinám a slabým organickým i anorganickým kyselinám. Má mírný sklon k důlkové korozi, tento druh koroze způsobuje chlór a jeho roztoky.

Ocel 1.4301	Chemické složení v %							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	N	S	P
% min	0,070	1,00	2,00	8,00	17,50	0,100	0,0150	0,045
% max				10,50	19,50			

Tabulka 1 Chemické složení austenitické oceli 1.4301 [2]

Mechanické vlastnosti				
Ocel 1.4301	Mez kluzu Rp 0,2% min [MPa]	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Minimální tažnost A [%]	Maximální tvrdost HRB
	195	540 - 680	45	88

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti austenitické oceli 1.4301 [1]

Materiál 1.4301 je při procesu expandování zpracováván tvářením za studena.

Pro procesy tváření za studena je charakteristické zpevňování. U oceli se děje zpravidla za teplot nižších než 0,2 až 0,3 $T_{\text{tav.}}$, tj. pod teplotami uzdravovacích procesů. Při tváření za studena, kdy základním mechanismem plastické deformace je dislokační skluz, dochází při pohybu dislokaci ve skluzových rovinách k jejich interakci s překážkami v mřížce, zejména se substitučními atomy, vakancemi a jinými dislokacemi. Také přítomnost jiných fází ovlivňuje zásadním způsobem dislokační skluz, a přičemž závisí na velikosti, tvaru a rozložení těchto fází. Ze začátku zatěžování (tváření) probíhá deformace skluzem jen v zrnech s nejpříznivější orientací vzhledem ke směru zatížení.

Během interakci dislokaci s překážkami dochází ke vzniku dislokačních zdrojů, z nichž vznikají další dislokace. Hustota dislokaci (celková délka dislokaci v jednotce objemu - mm/mm³) roste, přičemž smykové napětí, potřebné pro pohyb dislokaci v mřížce s takto zvýšenou hustotou dislokaci, je nutno zvyšovat. Vlivem rostoucího napětí se i v zrnech s méně příznivou orientací začnou aktivovat další skluzové systémy, takže každé zrno se deformuje do tvaru určovaného deformací jeho sousedů. Dislokační skluz se postupně stává obtížným, odpor proti skluzu roste, až do doby, kdy žádné další dislokace nejsou schopny mřížkou projít a začnou se hromadit před překážkami, nejčastěji na hranicích zrna nebo u hrubých fází. Takto vzniká zárodek trhliny a materiál se jeví jako křehký.

Existuje řada modelů, které popisují chování dislokaci v reálné krystalické mřížce (viz. fyzikální metalurgie). [4]

Výsledkem těchto procesů je zpevňování materiálu, které se projevuje:

- a) zvýšením meze kluzu a meze pevnosti v tahu, přičemž mez kluzu roste rychleji než mez pevnosti
- b) snížením tažnosti
- c) změnou fyzikálních, elektrických a magnetických vlastností

Materiálové vlastnosti zajišťující tvárnost:

Chemické složení

Obecně je možno konstatovat, že čisté kovy mají větší schopnost deformace – ať už za tepla nebo za studena, než slitiny. Snadná tvárnost většiny čistých kovů se vykládá tím, že posuvům v kluzných rovinách nebrání atomy cizích prvků (přímísenin, nečistot) v pohybu. U znečištěných kovů se stává, že atomy cizích kovů blokují posuvy a tak snižují tvárnost. V technických slitinách je tomu poněkud jinak než u čistých kovů.

Přesto, že v technických slitinách jsou již z metalurgických důvodů některé příměsi, známe mnoho příkladů, kdy přidáním dalších prvků tvárnost zvýšíme. Stane se to např. tehdy, jestliže nová příměs na sebe váže látky, které tvárnost zhoršují. Tak např. v ocelích mangan má odkysličující a odsiřující význam, hliníkem oceli k lisování uklidňujeme (je-li to žádoucí) a přídavek vanadu nebo titanu váže dusík.

Z uvedeného je zřejmé, že chemické složení nelze posuzovat izolovaně, bez přihlédnutí k strukturám a typu slitiny. [4]

Struktura

To co platí o chemické homogenitě, platí i o strukturní homogenitě kovů. Homogenní kovy nebo slitiny je možno deformovat snáze než heterogenní. Mezi homogenní struktury počítáme čisté kovy a u slitin tzv. tuhé roztoky. Je-li přímísenina nebo nečistota rozpuštěna, není ve struktuře ani pod mikroskopem vidět. Jednotlivé atomy cizího prvku jsou přímo zařazeny na místo nebo mezi atomy základního kovu. V takovém případě je tvárnost slitiny dobrá – i když rozpuštěním příměsí se mění mechanické vlastnosti. [4]

Mechanické vlastnosti

Při prosté zkoušce tahem podle ČSN 42 0310, provedené na tyčích podle ČSN 42 0320, získáme obvykle čtyři porovnatelné hodnoty, podle kterých je možno hodnotit tvárnost materiálu. Jsou to:

Re – pevnost v tahu [MPa]

Rm – mez kluzu v tahu [MPa]

A – tažnost [%]

ψ – poměrné zúžení [%]

Jak již bylo řečeno, tyto hodnoty nelze posuzovat izolovaně. Tak např. Nelze říci, má-li být pevnost v tahu malá či velká. Je zapotřebí, aby byla hodnotou dostatečně odlišná od meze kluzu a aby současně i tažnost byla vysoká. Potom nevadí, je-li pevnost vysoká. Velký význam pro posouzení tvárnosti má I poměr $\frac{\sigma_{Kt}}{\sigma_{Pt}}$. Za výhodné se považuje, je-li $0,6 < \frac{\sigma_{Kt}}{\sigma_{Pt}} < 0,8$.

Tažnost má být co největší, stejně tak i poměrné zúžení, na kterém závisí např. nejmenší možný poloměr nástroje při ohybu. [4]

Interní analýzy dodávek materiálu:

Spektrální analýza

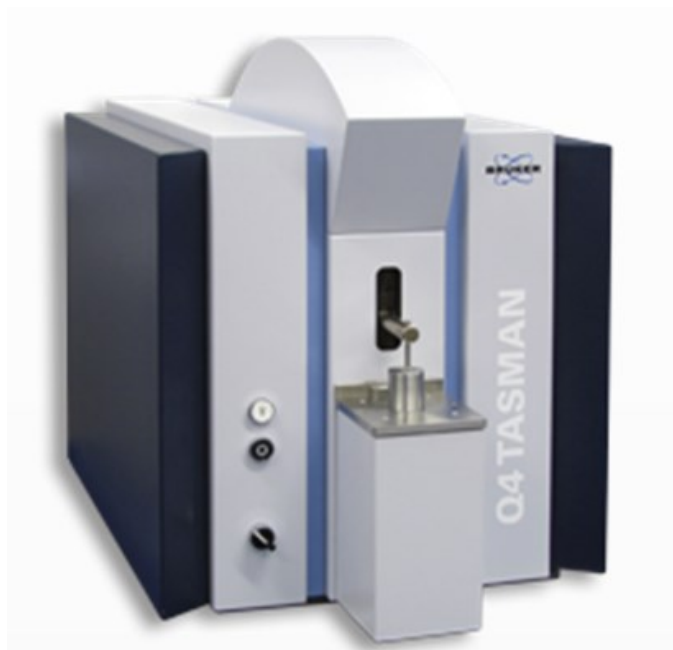
Pomocí přístroje zvaného spektrometr se zjišťuje složení analyzovaného materiálu. Výstupem je zjištění chemického obsahu analyzovaného kovu.

Interní postup při provádění spektrální analýzy: z každé nové šarže se odebere 1 ks plechu a provede rozměrová kontrola dle plánu kontrol (tloušťka, šířka, délka, velikost otřepu). Odstřihne se v příčném směru pásek o šířce přibližně 100 mm.

Obsluha spektrálního analyzátoru zbrousí pomocí pásové brusky na odstřiženém pásu plechu plochu minimálně 50 mm x 50 mm. Zrnitost brusného pásu P60, bez obsahu hliníkového pojiva (“černý” nebo “modrý”).

1. Obsluha analyzátoru provede tři měření podle návodu přístroje a uloží je do protokolu. Protokol musí obsahovat číslo šarže.
2. List analýzy kontrol se přiřadí ke kontrolovanému přířezu.

Přístroj pro interní provádění spektrální analýzy:



Obrázek 1 Optický spektrometr Bruker - Q4 TASMÁN [11]

<u>List analýzy</u>			Datum: 20.5.2015
Datum: 20.5.2015			Cas: 9:23:11
Vzorek:			Mat.c. 1.4301
Operator:			Typ:
Cas analýzy: 9:21:43			
Program: Fe130			

Al	As	B	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	N	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1.hodnot	0,00237	0,0116	<0,0010	0,0336	0,212	17,85	0,380	70,0	1,17	0,313	0,0543
2.hodnot	0,00204	0,0106	<0,0010	0,0332	0,211	17,70	0,370	70,3	1,15	0,309	0,0507
3.hodnot	0,00183	0,0106	<0,0010	0,0334	0,211	17,86	0,373	70,2	1,16	0,307	0,0536
4.hodnot	0,00185	0,00954	<0,0010	0,0343	0,209	17,87	0,372	70,2	1,14	0,313	0,0498
5.hodnot	0,00168	0,00949	<0,0010	0,0395	0,209	17,93	0,371	70,1	1,14	0,308	0,0506
MaxExt			0,070		19,500			2,000			0,110
MaxInte											
Hodnot	0,00195	0,0104	<0,0010	0,0348	0,211	17,84	0,373	70,2	1,15	0,310	0,0518
MinInter											
MinExte			0		17,000			0			0
Nb	Ni	P	S	Si	Sn	Ti	V	Cekv			
%	%	%	%	%	%	%	%	%			
1.hodnot	0,00954	9,31	0,0355	0,00364	0,389	0,0102	0,00239	0,103	4,53		
2.hodnot	0,00903	9,25	0,0326	0,00280	0,387	0,00970	0,00220	0,102	4,49		
3.hodnot	0,00910	9,24	0,0333	0,00291	0,382	0,00969	0,00253	0,102	4,52		
4.hodnot	0,00890	9,23	0,0316	0,00256	0,382	0,00916	0,00219	0,102	4,52		
5.hodnot	0,00851	9,21	0,0315	0,00274	0,383	0,00921	0,00210	0,0991	4,54		
MaxExt		10,500	0,045	0,030	1,000						
MaxInte											
Hodnot	0,00902	9,25	0,0329	0,00293	0,385	0,00959	0,00228	0,101	4,52		
MinInter											
MinExte		8,000	0	0	0						

Obrázek 2 Ukázka vyexportovaných výsledků ze spektrometru Q4 Tasman ze vzorku šarže materiálu 1.4301

Analýza mechanických vlastností materiálu:

Pomocí tahové zkoušky - jsou prováděny dle zkušební normy EN ISO 6892-1. Pro tuto analýzu jsou ze šarže plechu odebírány vzorky z příčného a podélného směru válcování.

Zkušební protokol

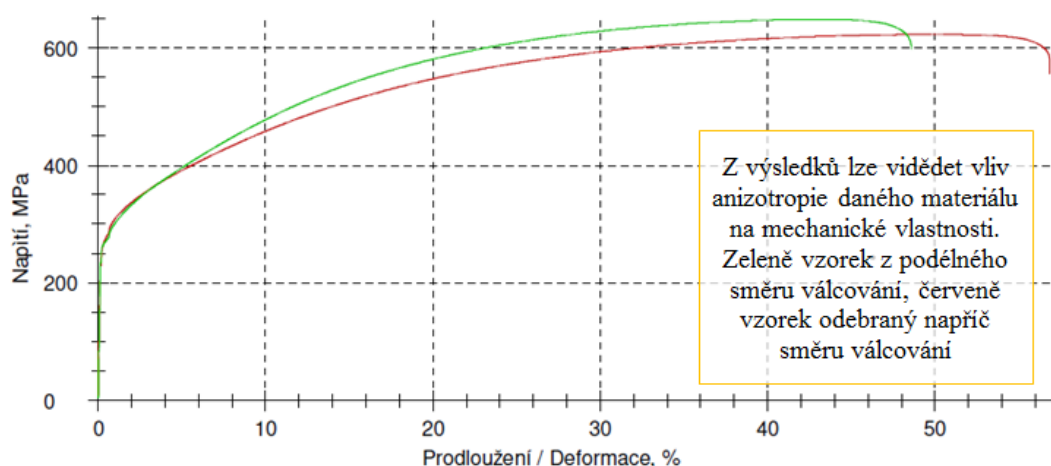
Zkušební norma : EN ISO 6892-1 Určení Ae : Metoda a)
 Typ a popis : Pořízený a podélný vzorek Zkušební systém : Zwick 50kN
 Materiál : 1.4301

Rychlost zkoušky : Metoda A(1) Rychlost v oblasti kluzu : 0,00025 1/s
 Předzatižení : 5 MPa Rychlost zkoušky : 0,0067 1/s
 Rychlost do meze kluzu : 0,00025 1/s

Výsledky zkoušek:

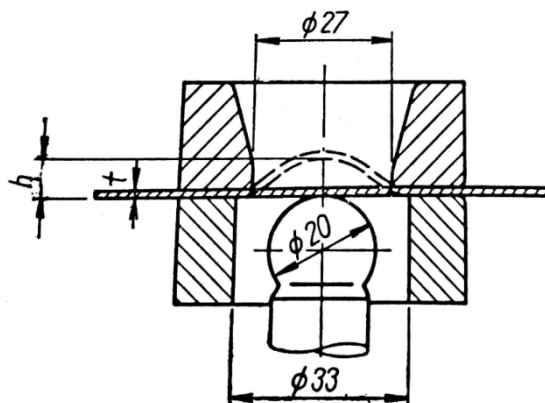
Legenda	è.	Popis zkoušky	m_E GPa	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	F_m kN	A_g %	A_{80} %	a_0 mm	b_0 mm	S_0 mm ²
	1	1.4301_Pořízený	273	264	623	6,33	49,79	56,7	0,508	20	10,16
	2	1.4301_Podélný	220	265	648	6,69	42,50	48,3	0,516	20	10,32

Grafické záznamy série:



Obrázek 3 Výsledek z měření mechanických vlastností materiálu 1.4301. Měření bylo provedeno na přístroji Zwick/Roel 50 kN

Pomocí zkoušky podle Erichsen – je to zkouška hloubením. Do plechu upevněného mezi čelisti tvaru mezikruží se vtlačuje kulový trn (viz obr. 4). Při tom dochází k hloubení plechu na kulovém vrchlíku a k vytahování plechu na kuželovém plášti důlku. Mírou hlubokotažnosti je rozměr h , při kterém dojde k narušení plechu. Tato míra je závislá nejen na materiálu, ale i na tloušťce plechu.



Obrázek 4 Schéma zkoušky hloubením (podle Erichsena) [3]

Po zkoušce se hodnotí také směr trhlin, podle kterého je možno usuzovat na anizotropii mechanických vlastností a také hrubost povrchu důlku. Ta je ukazatelem velikosti zrna plechu. [3]

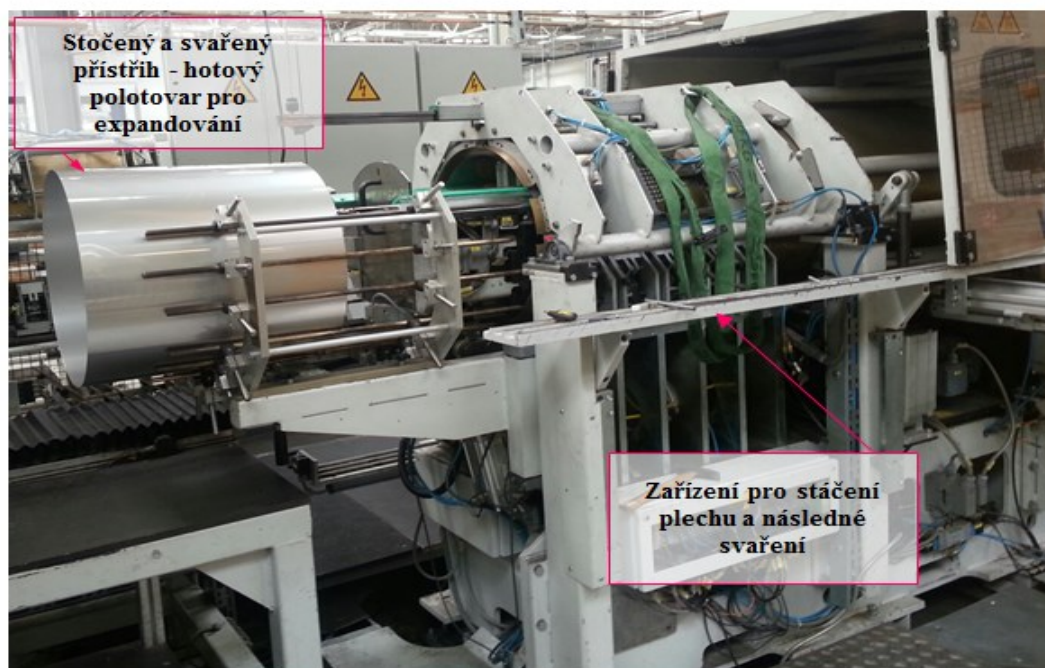


Obrázek 5 Ukázka zkoušky hloubením dle Erichsena. Horní materiál má jinou pevnost, tažnost a anizotropii (každý protlak se otevírá jiným směrem)

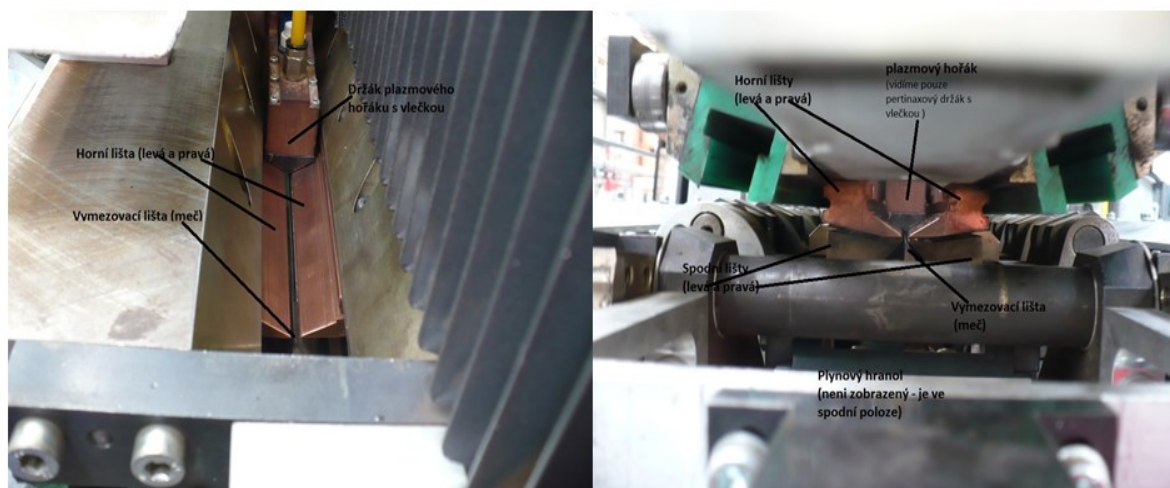
2.2 Příprava polotovaru pro expandování

Plechový přístřih, odebíraný z palety plechů je lineárním transferem umístěn na rolnu a odtud najede do stáčečky. U tohoto procesu je důležité mít plech stočený rovnoměrně tak, aby vznikla požadovaná mezera pro plazmový svar. S tím úzce souvisí rozměrová kvalita dodávaného přířezu. Od svaru se pak ze značné části odvíjí stabilita procesu, jelikož mezi nejčastější problémy při procesu expandování patří praskání ve svaru.

Stáčení plechu a svařovací rovina



Obrázek 6 Zařízení pro stáčení a svařování přístřihů



Obrázek 7 Oblast pro nastavení stáčecí roviny

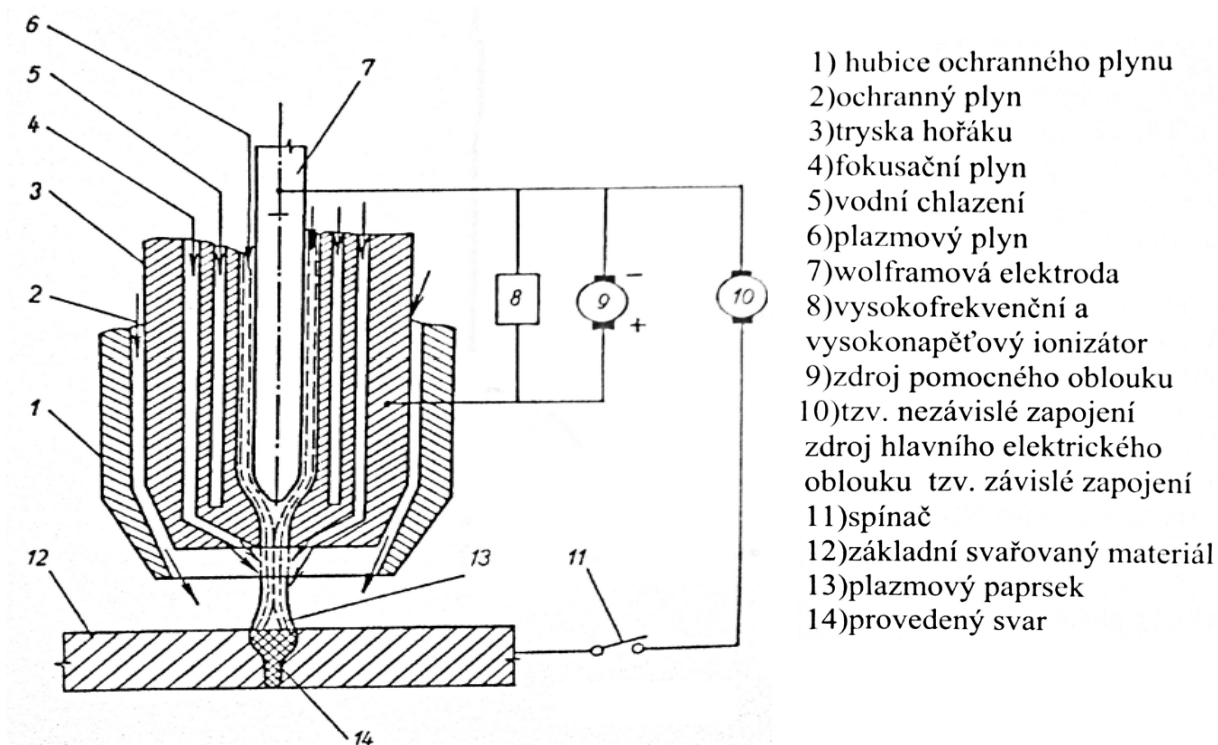
Plazmové svařování

Po stočení plechového přístřihu následuje svaření hran pomocí plazmy.

Pojmem plazma se označuje speciální stav plynů, někdy označovaný jako čtvrtý stav hmoty. Ke vzniku plazmy je nutná ionizace plynu (mechanická nebo tepelná), při které dochází k vyražení nebo uvolnění elektronů z vnějších valenčních (orbitálních) sfér atomů. Uvolněné elektrony mají záporný náboj a vedou v plazmě elektrický proud. Ionizované jádro atomu – iont se zbývajících elektrony má kladný náboj. Navenek se však plazma chová jako elektricky neutrální.

Pro ionizaci plynu se často jako zdroj tepla používá elektrický oblouk, který je kontrahován průchodem malým průměrem výstupní trysky a zvýšením teploty se dosáhne vyššího stupně ionizace.

Vlastní princip svařování plazmou je odvozený od svařování metodou WIG, kde keramická hubice je nahrazena kovovou tryskou chlazenou vodou nebo plynem.



Obrázek 8 Princip hořáku [5]

Svažitelnost materiálu plazmovým svařováním a jeho parametry jsou u tohoto typu podobná jako u metody WIG. Plazmové svařování však dosahuje vysokých svařovacích rychlostí, výhodnější poměr šířky k hloubce (1:1,5 až 1:2,5) a spolehlivé provaření kořene. Svařovací rychlosti jsou ve srovnání s metodou WIG podstatně vyšší. [6]

2.3 Jednotlivé fáze expandování

Po stočení a svaření plechu následuje proces expandování pomocí kapaliny tzv. hydroforming.

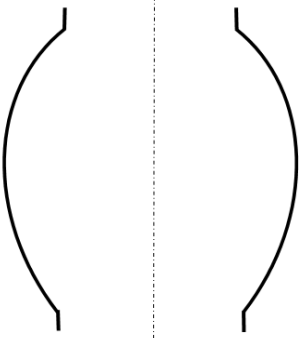
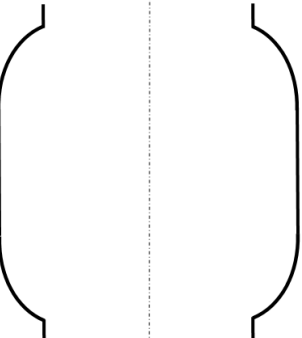
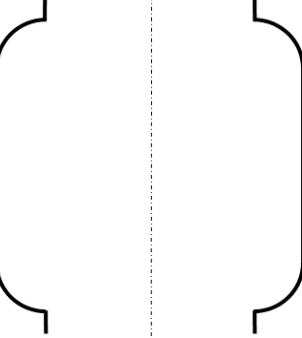
Tváření kapalinou je technika pro tváření plechových materiálů a trubek vyvíjením vnitřního tlaku kapalinou při působení síly na přidržovači. Ve srovnání s běžnými technikami tváření má tváření kapalinou následující výhody: [7]

- Více možností pro design
- Méně operačních kroků
- Možnost vytvářet složité nebo výjimečné tvary
- Zlepšení účinnosti při použití (někdy drahých) materiálů
- Zlepšení kontroly tloušťky stěny a zlepšení reprodukovatelnosti
- Žádné mechanické škody na výrobku (bez škrábanců na vizuálních plochách)
- Nižší náklady na formu
- Nízké náklady na pořizovací cenu
- Žádný odpad při zpracování řešených výrobků

Nevýhody:

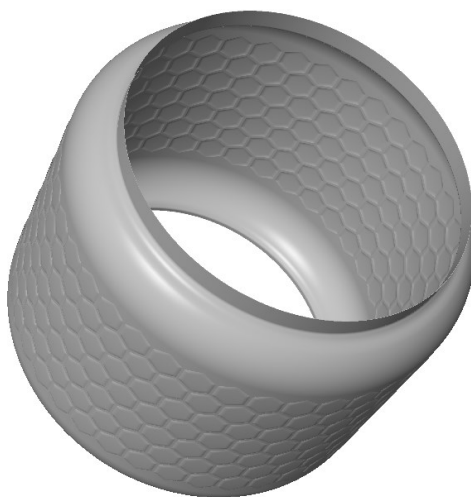
- Vyšší náklady na řízení procesu
- Hydraulika nutná k ovládání nástroje

Proces expandování daného výrobku je rozdělen na tři části:

Operace	Popis	Řez dílu po dané operaci	Parametry
1.	V první fázi expandování dochází k dosažení tvaru tzv. „vejce“		Parametr 9 (viz tabulka 4)
2.	V druhé fázi expandování je již výrobek hotový z 99%, jsou náznaky rádiusů a požadované struktury		Parametr 10 (viz tabulka 4)
3.	Ve třetí fázi dochází k dotlačení výrobku na negativ formy a k dosažení rozměrů předepsaných výkresem		Parametr 11 (viz tabulka 4)

Tabulka 3 Popis vytvoření výrobku

Vyobrazení zhotoveného dílu:



Obrázek 9 Zhotovený díl

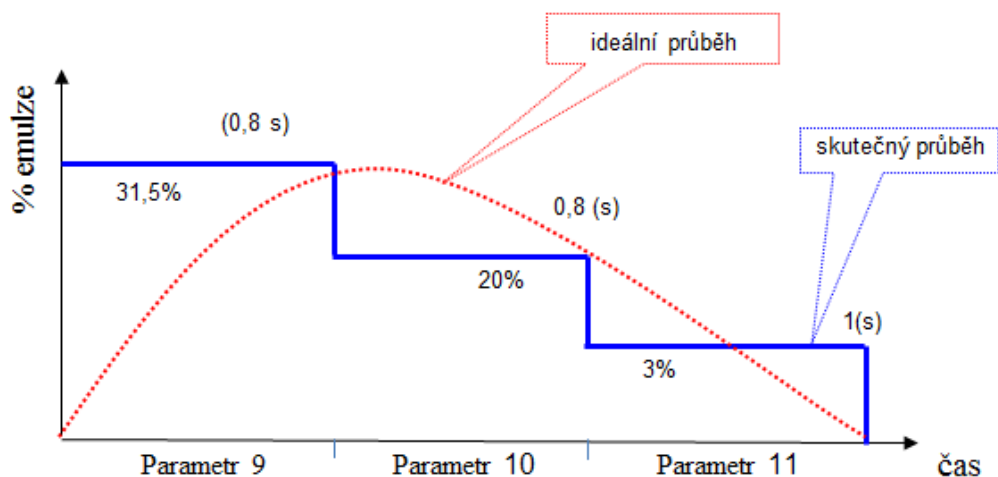
Popis nastavovaných parametrů:

Název	Hodnota	Udáno v	Popis
Úhel	Operativní	%	Procentuální hodnota z dodaného množství vody, potřebné pro expandování
Doba úhlu	Operativní	s	Natočení regulačního prvku na čerpadle. Čas doby trvání expandování (tj. napuštění vody 31,5%)
Tlak	Operativní	s	Doba tlaku oleje, při kterém je dosaženo 31,5% výtlaku vody
Tlak vana	Operativní	s	Čas tlaku
Výkon	Operativní	%	Mezní hodnota motoru (v hydraulice)
Parametry řízení expandování:			
Expandování 9	17	bar	Pumpa tlačí 31,5% z 220 cm ³ vody a tím vytvoří "vajíčko", to je tlak na manometru - cca 17 bar
Expandování 10	120	bar	Pumpa tlačí 3 % vody – tvoří se finální rádius bubnu - tlak cca 120 bar
Expandování 11	120	bar	Pumpa tlačí 3 % vody – tvoří se finální rádius bubnu - tlak cca 120 bar

Tabulka 4 Popis parametrů nastavovaných seřizovačem

2.4 Rozdíl mezi teoretickým a skutečným průběhem expandování

Grafické znázornění reálného průběhu a ideálního průběhu expandování:



Obrázek 10 Grafické znázornění průběhu expandování, bez měřítka

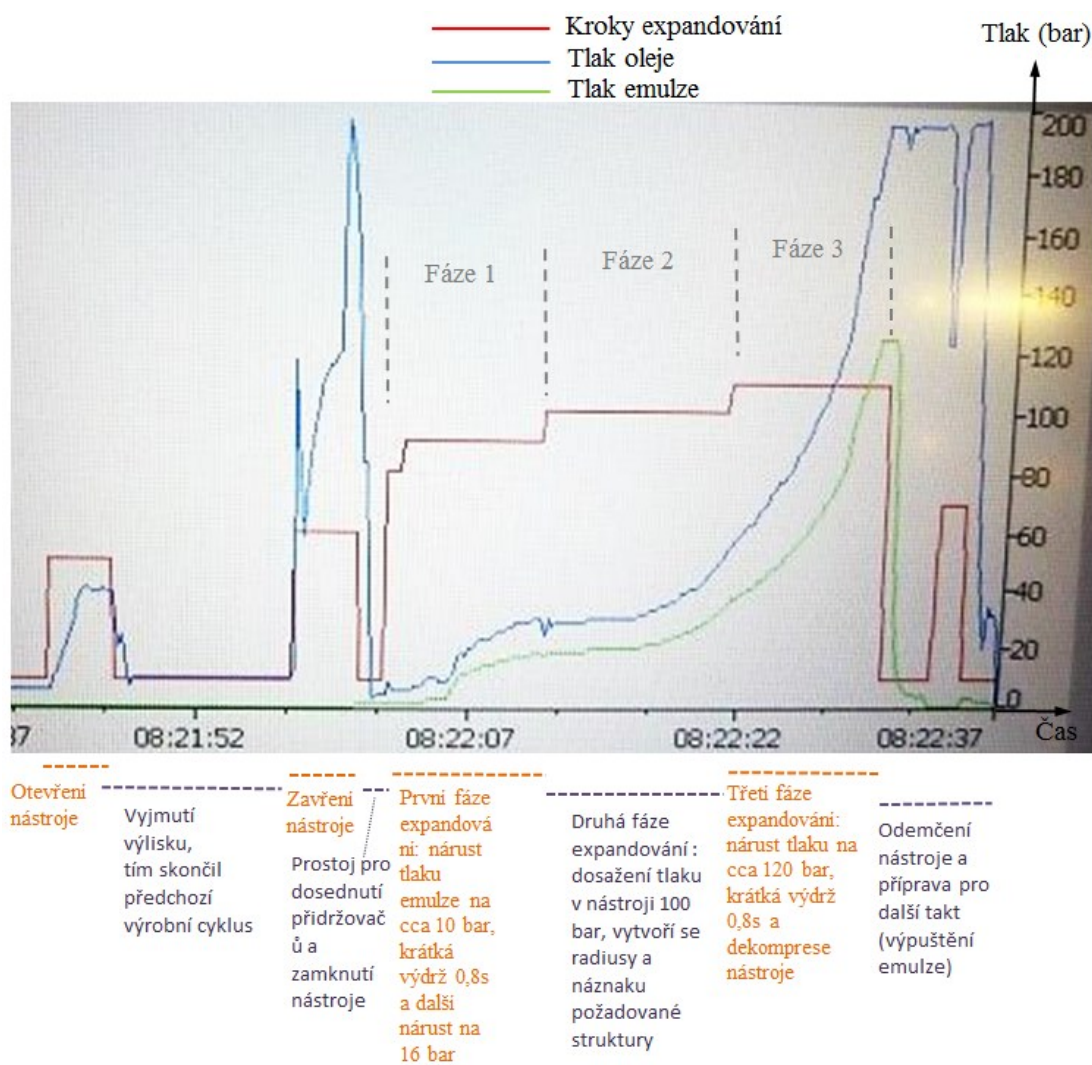
Konkrétní parametry použité v experimentu:

Parametr	Úhel (%)	Doba úhlu (s)	Tlak (bar)	Tlak vana (s)	Výkon (%)
9	31,5	0,8	100	1	30
10	20	0,8	100	1	30
11	3	1	215	1	30

Tabulka 2 Parametry expandování (stanovuje technolog)

Parametry pro expandování stanovuje technolog v závislosti na požadovaném taktu finálního produktu. Skutečný takt při expandování není pro linku úzkým hrdlem a tím je vytvořený prostor pro experimentování směrem ke zvýšení stability vlastního procesu expandování.

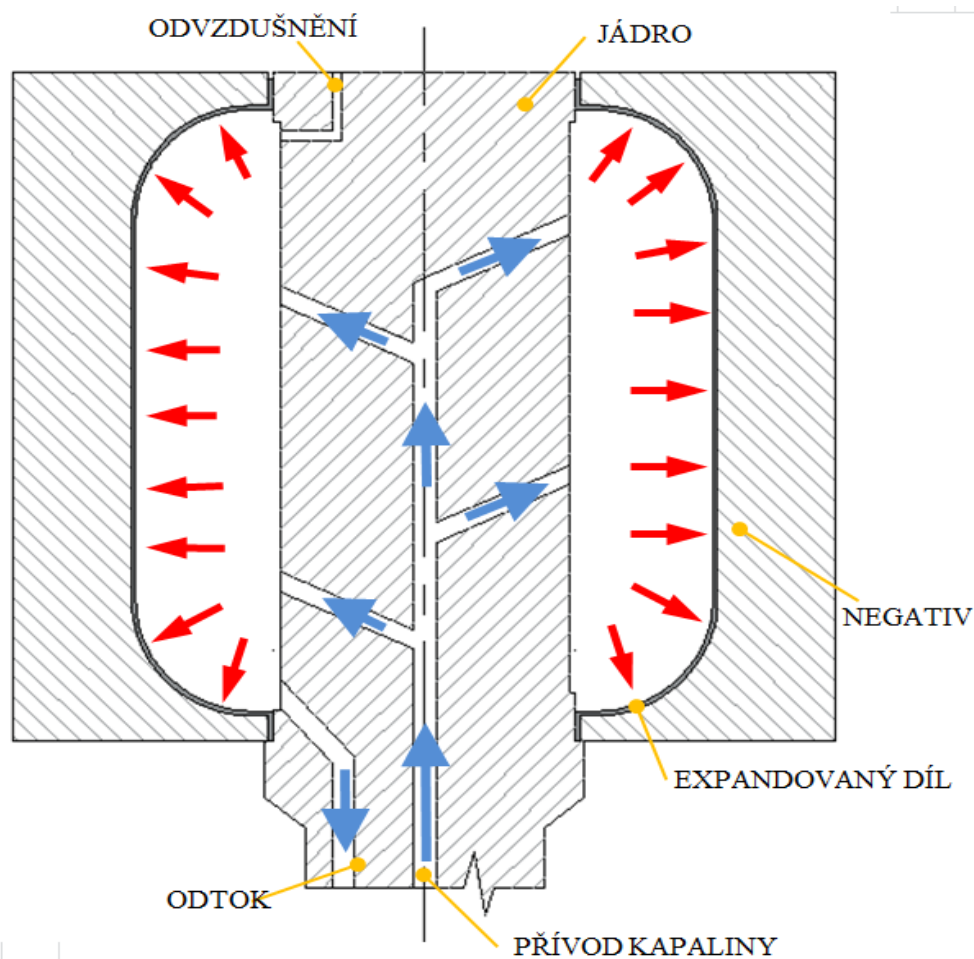
Záznam grafického znázornění průběhu expandování z programu, (popisem programu jsou jednotlivé fáze):



Obrázek 11 Popis procesu jednotlivých fází expandování

3. KONSTRUKCE NÁSTROJE A ANALÝZA HYDRAULICKÉHO ZAPOJENÍ

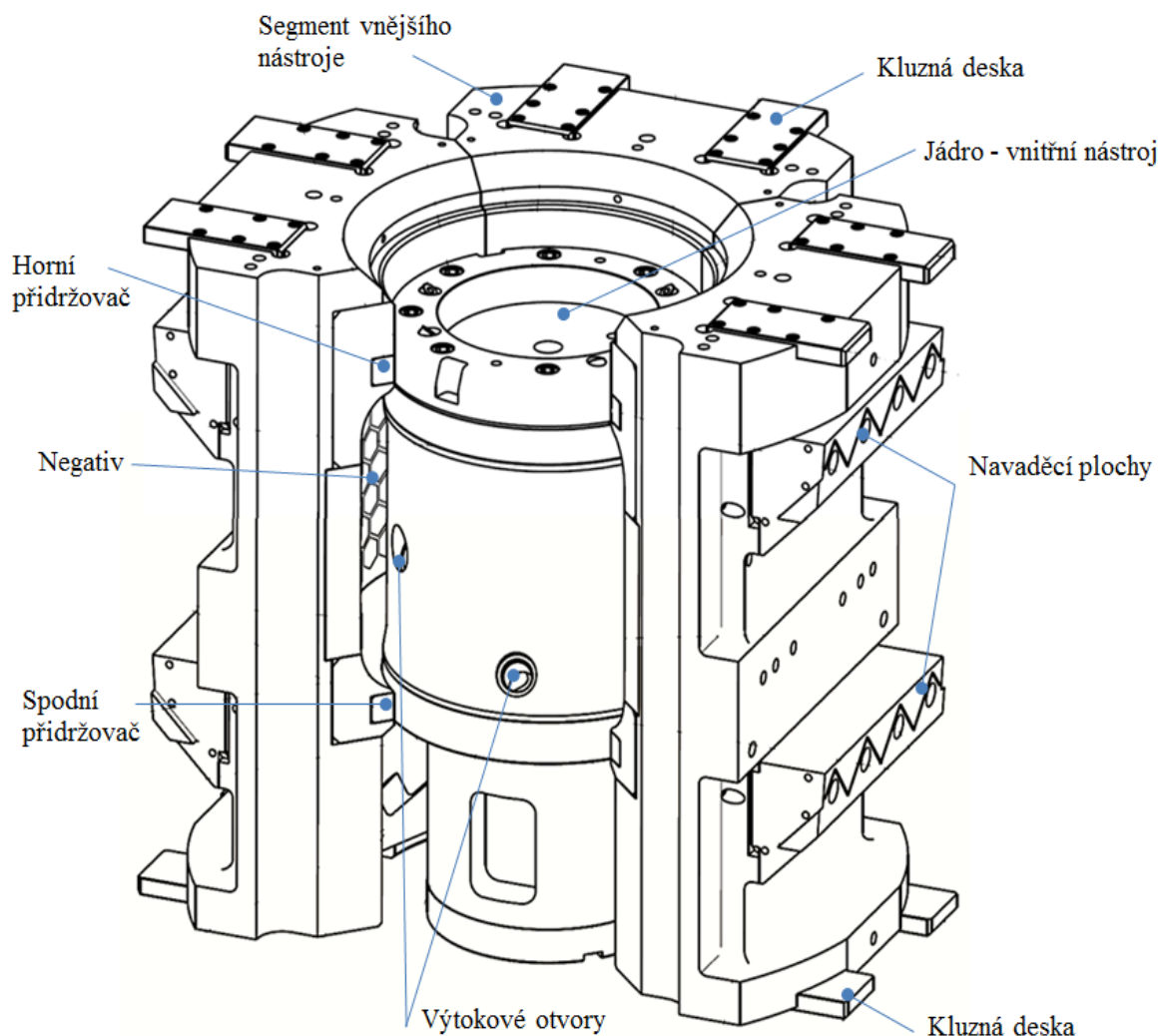
3.1 Schéma principu nástroje



Obrázek 12 Schematické znázornění principu nástroje

Vodící lišty a kluzné desky musejí být konstruovány tak, aby vydržely velké tlaky kapaliny.

3.2 Řez jádrem nástroje a jeho popis



Obrázek 13 Popis jádra nástroje

Pro ty části jádra nástroje, které přijdou do kontaktu s plechem (kromě negativu), byl použit materiál AMPCO 22.

Výhody plynoucí ze složení AMPCO produktů pro proces tváření: [9]

- vyšší tvrdost, lepší kluzné vlastnosti s prokazatelně nižším opotřebením
- nižší tření, žádné zadírávání na ocelových komponentech
- lepší povrch na finálním nerezovém výlisku
- zredukování operací
- 30% zvýšení produktivity

Materiál AMPCO 22:

AMPCO 22 je slitina s duplexní strukturou s přibližně 50% každé fáze – gama 2 a beta. Je výjimečná svojí tvrdostí, vynikající odolností vůči stlačení a opotřebení i kluznými vlastnostmi. Neboť elongace materiálu je velmi nízká, je třeba se vyvarovat použití tenkých úseků a materiál by měl mít dobrou oporu.

Značka	Chemické složení v %			
	Cu	Al	Fe	Mn
AMPCO 22	81	13,5	5	1

Tabulka 5 Chemické složení materiálu AMPCO 22 [10]

Materiál AMPCO 22 - některé mechanické a fyzické vlastnosti		
Název	Jednotky	Nominální hodnoty
Pevnost v tahu - Rm	MPa	586
Mez kluzu - Rp 0,2	MPa	489
Tažnost - A5	%	0,5
Tvrdost (Rockwell)	HRC	35
Modul elasticity - E	GPa	103
Hustota - ρ	g/cm^3	7,06

Tabulka 6 Mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu AMPCO 22 [9]

Použití:

Oblasti použití AMPCO 22, jsou až na několik výjimek omezeny na tvarování anebo tažení nerezové oceli, především při dlouhodobém provozu nebo když je i při velké hmotnosti měřicího zařízení nezbytné udržet dané tolerance. Typickými použitími jsou kluzné desky, pouzdra, lisovací nástroje, třecí patice a desky, svařování materiálu. [10]

Negativ na vnějším segmentu nástroje:

Je zhotoven z nástrojové oceli 1.1730 (ČSN ekvivalentem je nástrojová ocel 19 083). Je to uhlíková nástrojová ocel vyznačující se dostatečnou tvrdostí základné vrstvy, vysokou houževnatostí a velmi značnou necitlivostí na kalící trhliny. Dále se ocel vyznačuje dobrou tvárností za tepla a dobrou obrobiteľnosť v žíhaném stavu. Tato ocel má širokou vhodnosť použítí, medzi ktorou např. patří zámečnické a montážní nářadí, kalené součásti forem – např. základové desky, pouzdra, sloupky, dorazy, pružící součástky. Dále je ocel vhodná na kovářské nářadí. [12]

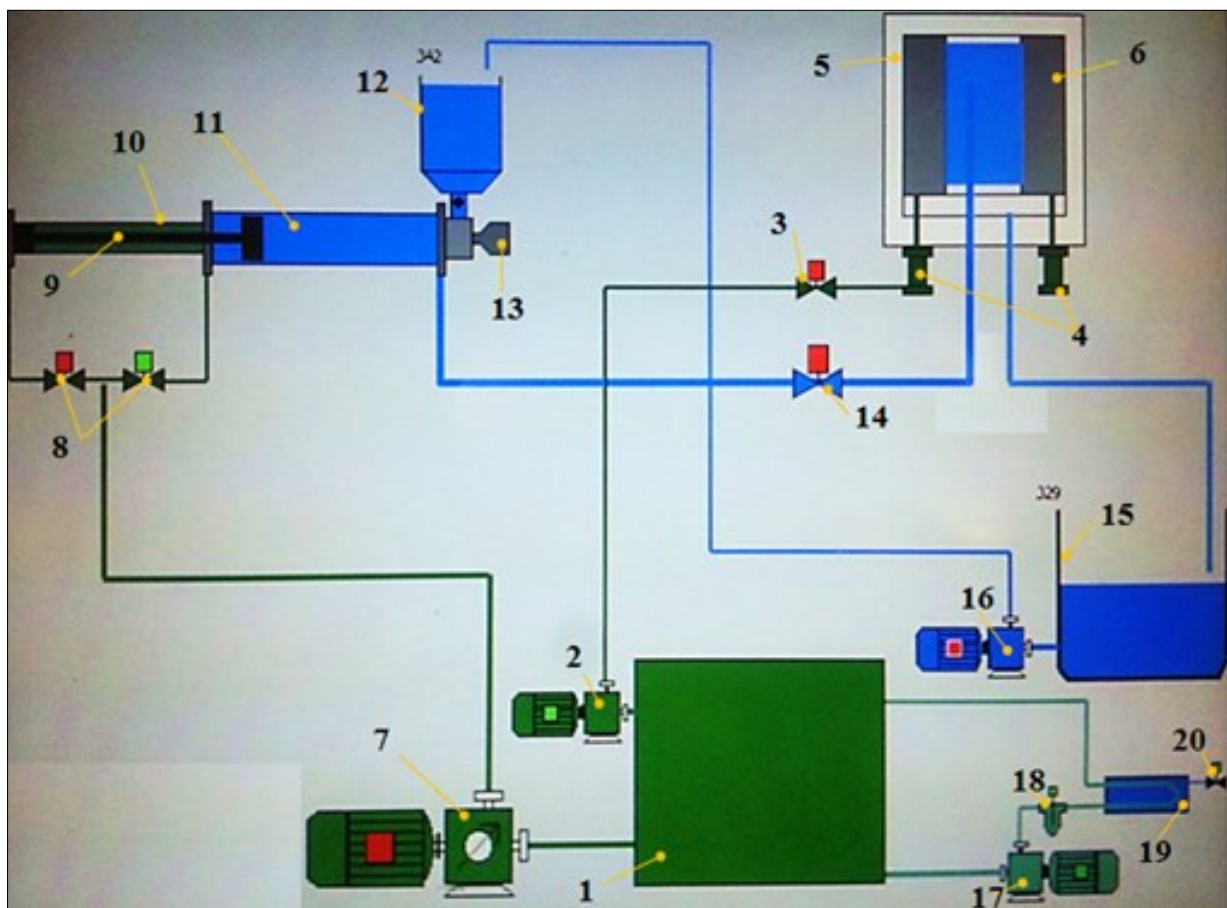
Ocel 1.1730	Chemické složení v %						
	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	V
% min	0,40	0,15	0,60	0,035	0,035	0,40	0,10
% max	0,50	0,40	0,80				

Tabulka 3 Chemické složení oceli 1.1730 [13]

Mechanické vlastnosti				
Ocel 1.1730	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Minimální tažnost	Maximální tvrdost
	Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	HRB
	1034	1158	15	335

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti oceli 1.1730 [14]

3.3 Popis hydraulického okruhu



Obrázek 14 Schematické znázornění hydraulického okruhu

Popis:

1. Nádrž hydraulického oleje
2. Hydraulické vysokotlaké čerpadlo tlačící olej do ventilů pro otvírání a zavírání segmentů nástroje
3. Redukční dvoucestný ventil - regulací tohoto ventilu lze měnit tlak na přidržovači
4. Hydraulické válce posouvající segmenty nástrojů – přidržovače
5. Expandér
6. Nástroj
7. Čerpadlo pro sání oleje z akumulární nádrže do prostor hydraulického válce
8. Škrťací ventily s elektrickou regulací (pro ovládání hydraulického válce)
9. Pístnice s pístem
10. Hydraulický válec (hnací jednotka pro tlačení emulzní kapaliny do expanderu)
11. Hnaná jednotka (pro expandovací emulzi)
12. Zásobník emulze
13. Řízení tlaku rampy
14. Ventil pro řízení expandování (úhel rampy a čas otevření rampy)
15. Nádrž s expandovací emulzí
16. Čerpadlo přečerpávající emulzi z nádrže do zásobníku
17. Čerpadlo pro okruh chlazení oleje
18. Filtrační jednotka
19. Chladič oleje
20. Ventil pro napouštění chladicí kapaliny

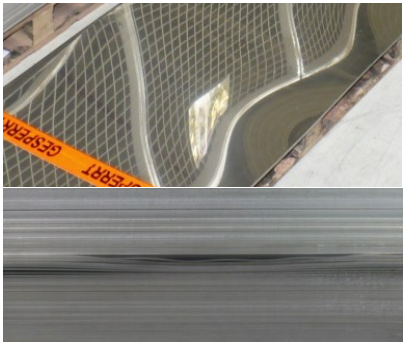

4. IDENTIFIKACE KVALITY VÝLISKU ŘÍZENÍM PARAMETRŮ HYDRAULICKÝCH PRVKŮ



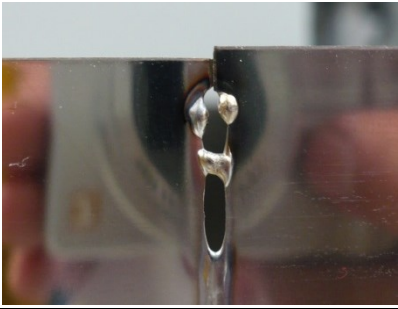
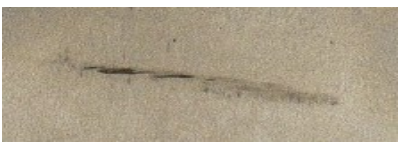
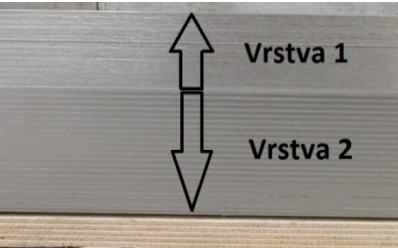


4.1 Kvalita vstupního materiálu a její spojitost s kvalitou výrobku

Požadovaná kvalita rozměrů vstupního materiálu:

Název	Tolerance	Jednotka	Měřicí prostředek
Tloušťka	Tol. +0,05	mm	Mikrometr
Šířka	Tol. +0,6		Posuvné měřidlo
Délka	Tol. $\pm 0,5$		Posuvné měřidlo
Pravouhlost	Maximální mezera: 0,7		Úhelník, spárovací měrka
Max. otřep na střížené a podélné hraně	0,05		Vizuální kontrola, posuvné měřidlo, mikrometr

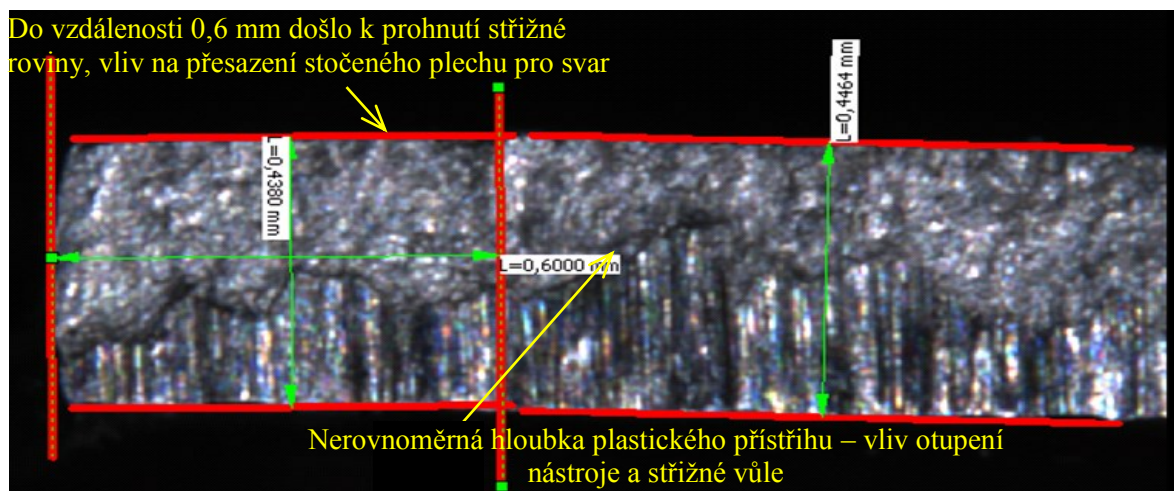
Tabulka 5 Požadovaný kvalita vstupního materiálu

Materiálové vady od dodavatele			
Pořadí	Typ vady	Vyobrazení	Vliv na proces
1.	Zvlnění		Nedodržení délky přístřihu, naráží do nástroje, následný vznik škrábanců
2.	Deformace rohů		Poškozování nástroje

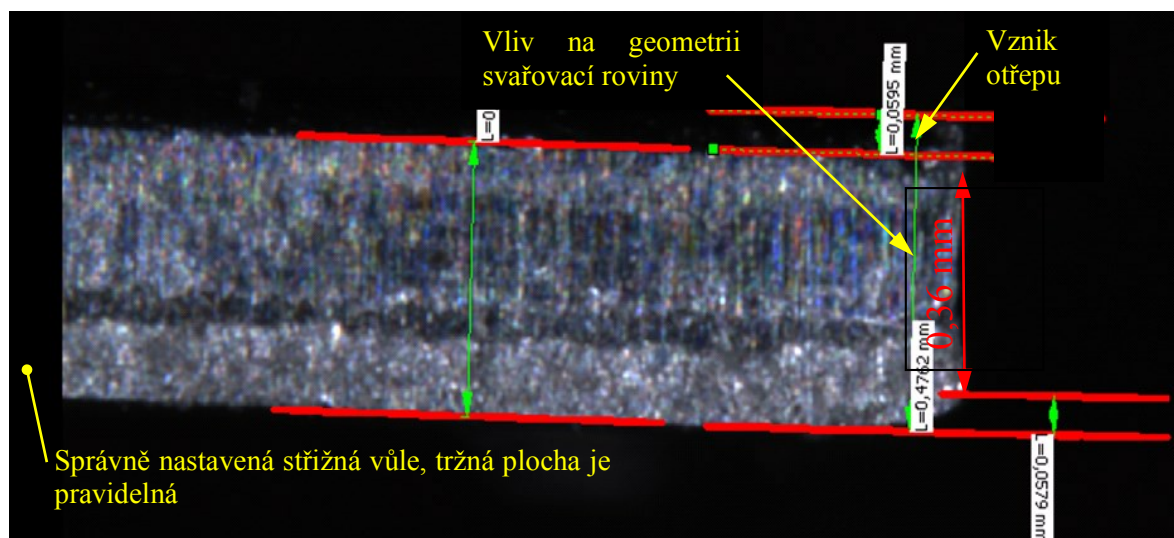
3.	Otlak		Vizuální vada, praskání plechů při expandování
4.	Rozválcovaný vměstek		Vizuální vada, praskání plechů při expandování
5.	Lichoběžníkový stříh		Nerovnoměrná funkce přidržovače
6.	Nečistoty		Vizuální vada, při vysokém tlaku jsou nečistoty vtlačeny do základního materiálu a jsou nevyčistitelné
7.	Rozdílné materiálové vrstvy v jedné paletě		Při automatizovaném zpracování může dojít k nutnosti změny parametrů – praskání materiálu
8.	Uložení plechů, osový posun		???
9.	Škrábance		Vizuální vada

Nepřípustné vady na stříhu hrany pro svařování:

Při nesprávně nastavené střížné vůli dochází ke vzniku otřepů a špatné geometrie svařovací roviny, tržná plocha je nepravidelná (viz obr. 15).



Obrázek 15 Ukázka vady na stříhu – průhyb střížné roviny a nerovnoměrnost plastického přístříhu



Obrázek 16 Ukázka vady na stříhu – otřep a zúžený konec

Při nesprávné vůli se střížná práce zvětšuje dodatečným stříháním (trhliny šířící se pod nesprávným úhlem se nespojují). Při větší vůli se více deformují hrany výstřížku, střížná plocha je užší a tržná plocha je více skloněna (prodlužuje se životnost nástroje). Při menší vůli se zvyšuje kvalita střížné plochy a zároveň se zvyšuje střížná síla. U otupěného nástroje se vytváří na hranách výstřížku otřep (do 0,06mm) – otřep při deformaci znemožní doražení plechů před svařováním.

Na průběh stříhání, jakost stříhaných ploch a rovinnost výstřížků mají vliv:

- Střížná vůle (největší vliv)
- Stav (ostrota) střížných hran
- Tvar (vzájemný sklon) střížných hran
- Relativní pohyb střížných hran
- Jakost materiálu, vliv meze kluzu
- Při stříhání dochází ke zpevnění okraje do hloubky $(0,2-0,7 \times t)$ a při dalším zpracování mohou vznikat trhliny – výrobek se poškodí

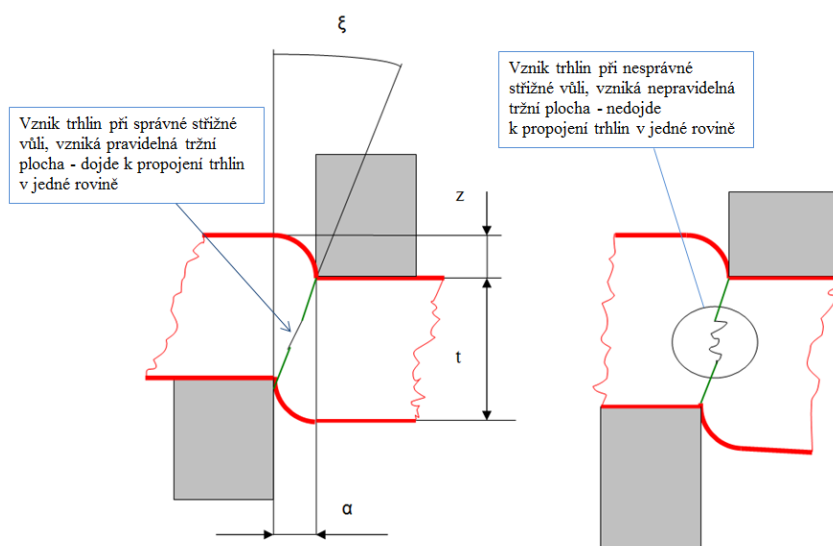
Hloubka vniknutí střížných hran (Z), při níž se materiál oddělí, závisí na jakosti materiálu a jeho tloušťce:

$$Z = k_1 \cdot t \quad (\text{mm}),$$

kde: t ... tloušťka materiálu

k_1 ... součinitel hloubky vniknutí střížných hran (pro středně tvrdé materiály $0,35 \div 0,5$)

Princip nastavení střížné vůle a posuzování tvaru střížné plochy:

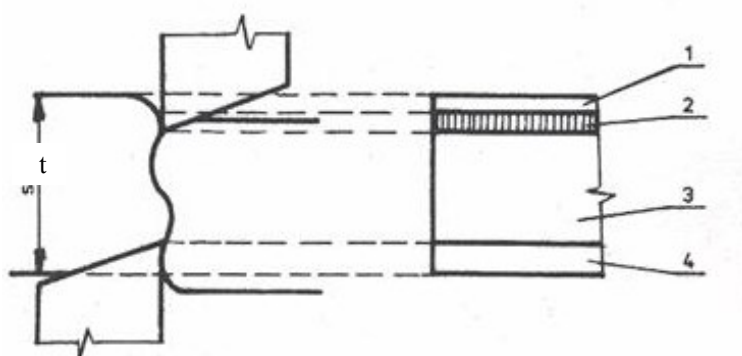


Obrázek 17 Vliv nastavení střížné vůle

(ξ je úhel roviny odtržení (pro středně tvrdé mat $3^\circ \div 14^\circ$))

Vůle mezi břity 1/10 až 1/20 tloušťky materiálu má zabránit tomu, aby se břity nůžek navzájem poškozovaly. Vůle nesmí být však zvolena příliš velká, aby se materiál mezi břity nekroutil a nepotrhal. Na obrobku by vznikly příliš velké otřepy a břity by se poškodily. Úhel břitu má podstatný vliv na vlastní postup stříhání. Je asi 75° až 90°.




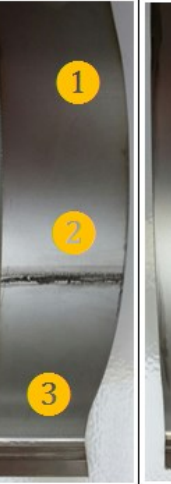


Aby se břity netřely o plochu obrobku a nepoškozovaly ji, mají úhel hřbetu (podbroušení) asi 2°. Střížný úhel snižuje velikost síly vynaložené na stříhání, protože břit působí ve tvaru klínu a ne plochy. [16]



Obrázek 18 Deformační pásma při stříhání. 1 – pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 – pásmo utržení, 3 – pásmo smyku (plastická deformace), 4 – pásmo odtlačení [17]

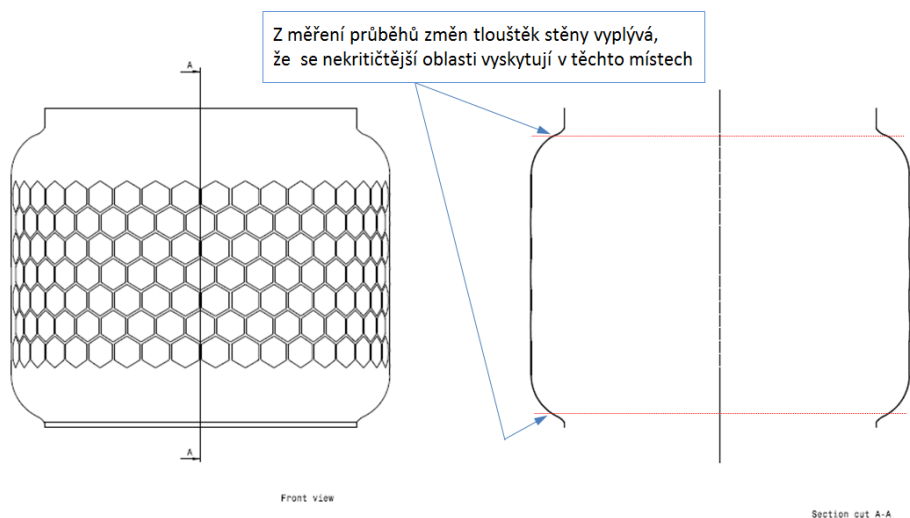
4.2 Vady vzniklé při expandování

Nejkritičtějšími místy při expandování výrobku jsou oblasti, kde dochází k tvorbě rádiusů a svary v oblasti rádiusů. Dochází zde ke ztenčování stěny vlivem tažení. Tloušťka stěny byla měřena na výřezech z horní a spodní části rádiusu – 3x po 120°. K měření byl použit mikrometr značky Mitutoyo, rozsah 0 – 25 mm/0,1 μ .

MĚŘENÍ V OBLASTI RÁDIUSŮ PRO IDENTIFIKACI NEJKRITIČTĚJŠÍHO MÍSTA VYRÁBĚNÉHO DÍLU PŘI PROCESU TVÁŘENÍ											
HORNÍ OBLAST VÝROBKU						SPODNÍ OBLAST VÝROBKU					
VZOREK 1		VZOREK 2		VZOREK 3		VZOREK 1		VZOREK 2		VZOREK 3	
											
Naměřené hodnoty tlouštěk stěny v radiusu [mm] (tl. polotovaru: 0,5 +0,05 mm):											
1.	0,3848	4.	0,414	7.	0,4171	1.	0,4196	4.	0,4132	7.	0,4199
2.	0,4106	5.	0,4187	8.	0,4274	2.	0,4163	5.	0,4133	8.	0,4379
3.	0,4045	6.	0,4115	9.	0,4182	3.	0,3905	6.	0,3859	9.	0,3861

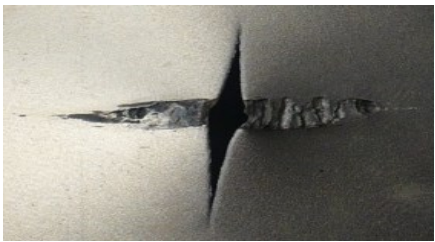
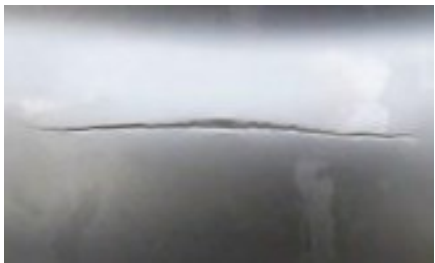
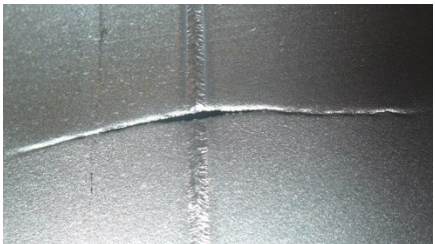


Obrázek 19 Měření průběhu změn tloušťky stěny v radiusu (výřezy z horní a spodní části bubnu, rozvržené po 120°)

Nejkritičtějším místem je ta oblast dílu, kde dochází k největšímu ztenčení stěny:



Obrázek 20 Vyobrazení kritických míst, kde dochází k největším stečením stěny

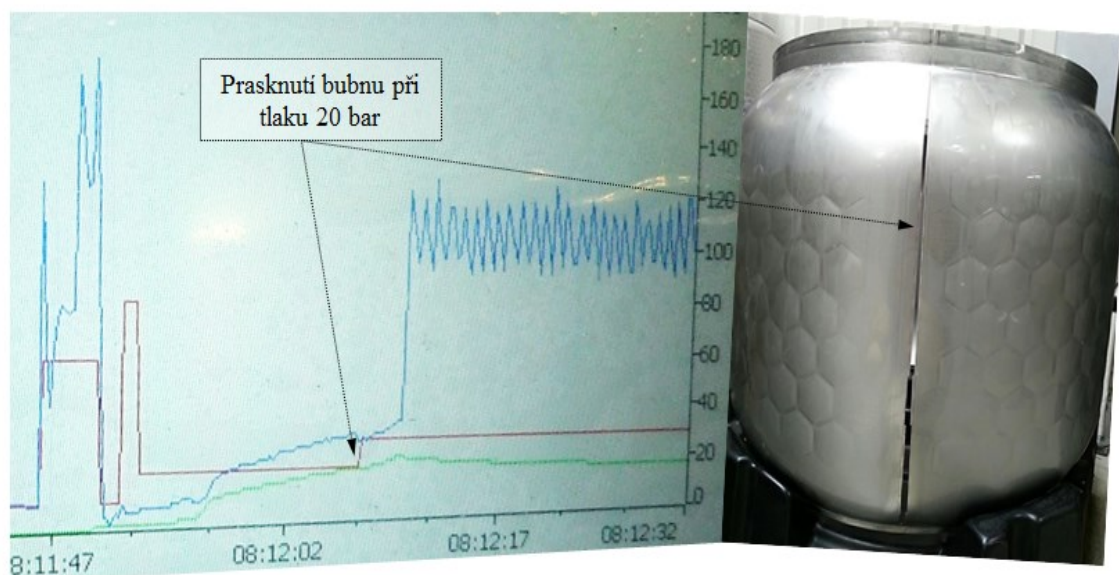
Popis vzniklých vad při expandovacím procesu:

Vada	Vyobrazení	Popis
Prasklina		Vlivem vady materiálu došlo k roztržení (iniciátorem trhliny bylo převálcování plechu)
Prasklina v oblasti rádiusu		Příčinou vady bylo vyčerpání plasticity materiálu. Došlo ke ztenčení plechu až pod hodnotu 0,35 mm – došlo ke ztenčení o 30%
Prasklina ve svaru, v oblasti radiusu		K této prasklině došlo vlivem vadného svaru
Rozjetý šev ve svaru		Vadná rovina pro svařování (přesazení plechu)
Utržení v oblasti rádiusu		Vyčerpání plasticity

5. OVLIVNĚNÍ KVALITY VÝLISKŮ ŘÍZENÍM PARAMETRŮ HYDRAULICKÝCH PRVKŮ

5.1 Identifikace a řešení prasklin při procesu expandování

1. Prasknutí materiálu ve svaru

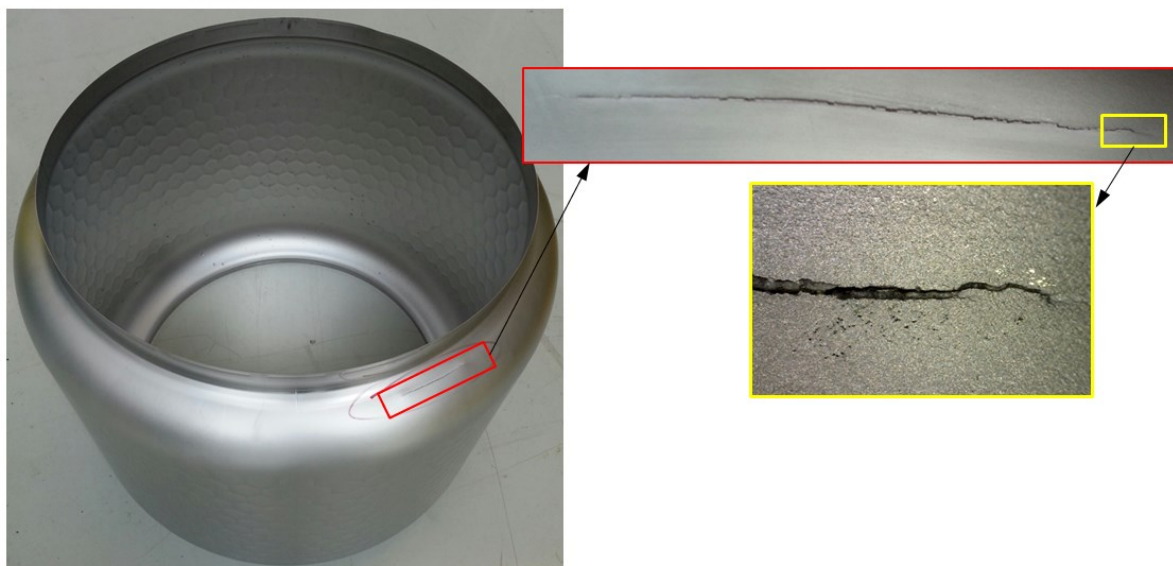


Obrázek 21 Vlevo lze vidět průběh tlaků kapalin při jednotlivých krocích expandování

Řešení problému:

1. Kontrola rozměrů přístřihu a stavu střižné hrany
2. Kontrola nastavení stáčecí roviny a plazmové svářečky
3. Rozbor chemického složení a mechanických vlastností materiálu

2. Prasknutí materiálu v oblasti rádiusu



Obrázek 22 Prasklina v kritické oblasti

Postup při řešení:

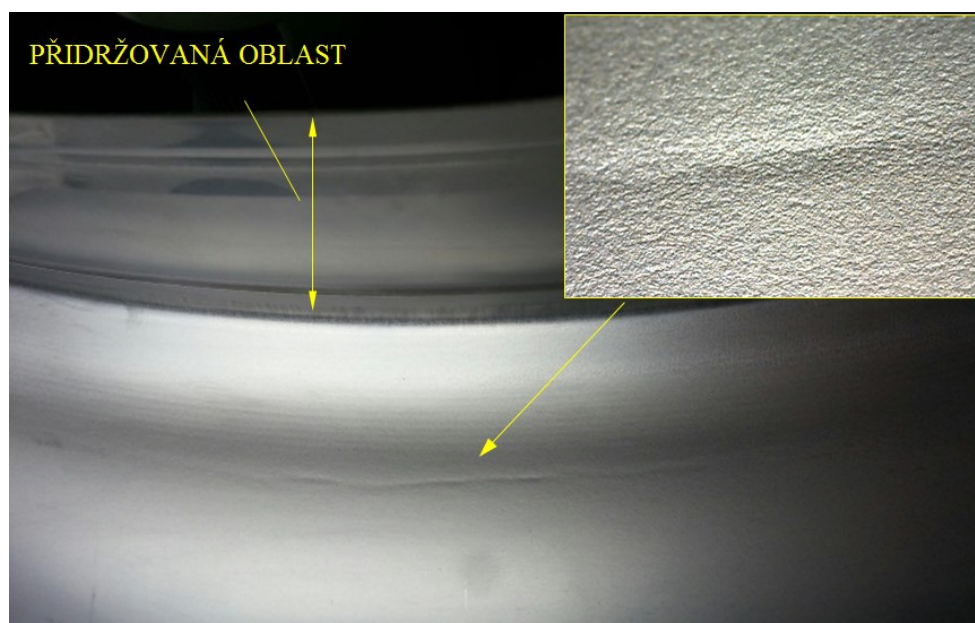
1. Kontrola tloušťky přířezu
2. Analýza chemického složení a mechanických vlastností dané šarže materiálu
3. V případě splnění garantovaných specifikací dané šarže úprava expandovacích parametrů z posledního kroku – snížení parametru 11 na základě měření ztenčené části. Ubrání tlaku na přidržovači.

3. Tvorba krčku – zúžení materiálu v nejvíce namáhané oblasti

Krček vzniká, když je stav napjatosti materiálu v dané oblasti vyšší, není homogenní a je vyčerpaná plasticita. Vyčerpanou plasticitou dojde k zablokování dislokací. Plasticita je dána počtem dislokací na jednotku objemu.

Doporučující hodnota maximálního zeslabení: Tloušťka plechu v oblastech ovlivněných tvářením mohou být zeslabeny max. o 25% nominální tloušťky materiálu.

[15]



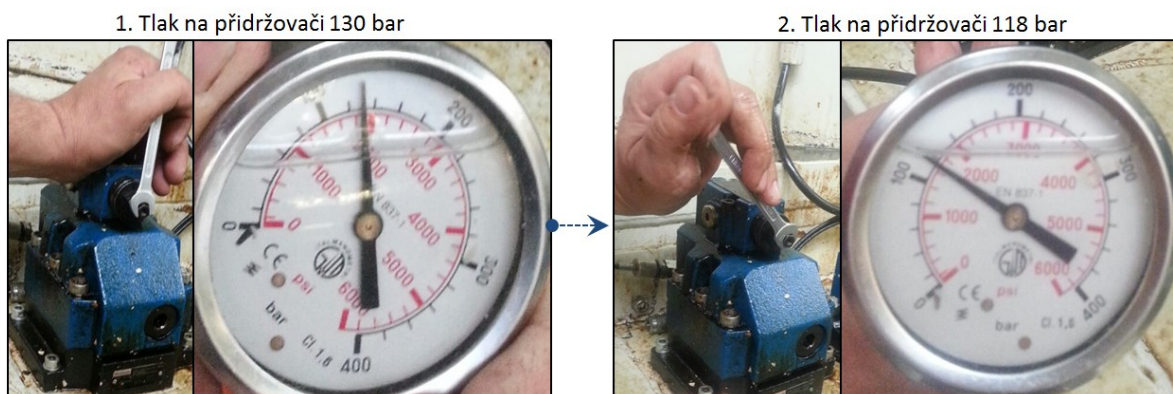
Obrázek 23 Zeslabení materiálu v kritické oblasti – tvorba krčku

Postup při řešení:

1. Kontrola tloušťky přířezu
2. Analýza chemického složení a mechanických vlastností dané šarže materiálu
3. V případě splnění garantovaných specifikací dané šarže materiálu snížení tlaku na přidržívači za pomoci redukčního ventilu (viz Obr. 24), snížením tlaku na přidržívači dostane materiál možnost většího toku. Výsledek nastavení se ověřuje měřením tloušťky kritické části a zároveň kontrolou rovinnosti čela výlisku. Při měření byl použit digitální tloušťkoměr Kroeplin C3R30

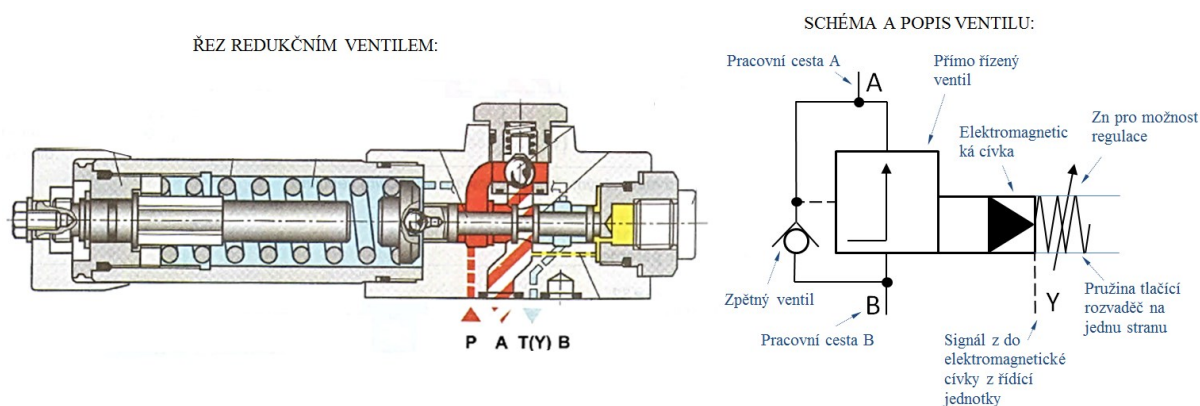


Obrázek 24 Digitální tloušťkoměr Kroeplin C3R30



Obrázek 25 Úprava tlaku na přidržovači – při hodnotě 118 bar přestalo docházet k tvorbě krčků

Redukční ventil zajišťuje, aby byl průtok z jednoho obvodu s vyšším tlakem do jiného hydraulického obvodu tak, aby zde byl dosažen a udržován požadovaný konstantní nižší tlak. Energeticky znamená tato funkce ztrátu energie – vznik tepla. Princip tlakového redukčního ventilu znázorňuje obr. 26. Jedná se o tzv. dvoucestný systém, pracující na principu silové rovnováhy síly od pružiny a síly z redukovaného tlaku působícího na čelo šoupátka. [18]



Obrázek 26 Řez redukčním dvoucestným ventilem a popis jeho schematického znázornění [18]

5.2 Vliv kvality expandovací emulze

Funkční kapalinou je směs emulze (5%) s demi vodou (95%).

Demi voda:

Demineralizovaná voda je voda velmi vysoké čistoty a kvality zbavená všech iontově rozpustných látek a křemíku ve formě SiO_2 . Tato voda, používaná v jaderných elektrárnách především jako chladicí médium, teplotonosná a pracovní látka, se připravuje ze surové povrchové vody, kterou je nutné podle účelu použití upravit. [7]

Používaná demivoda je vyráběna na vedlejším pracovišti expanderu. Za pomoci vysokotlakých filtračních jednotek jsou odstraněny minerály a jiné nežádoucí prvky pro výrobu. Zde používaná demi voda má vodivosti minimálně $12,9 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$ a maximálně $30 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$, aby neměla tendence na sebe vázat zpět minerály, o které byla zbavena mechanickou cestou. Obecně platí, že čím menší má tato demi voda vodivost, tím více je zbavena minerálů.

Koncentrát emulze:

Chladicí a mazací řezná, vodou ředitelná emulzní kapalina Blasocut BC 25 Art. 1250-01. Je to směs minerálního oleje, konzervační přísady, alkanolamidů, emulgátorů a inhibitorů. Množství 5% je dáno rozpustností emulze. Při větším množství by docházelo ke vzniku sraženin. Přípravek není klasifikován jako nebezpečný.

Některé z vlastností tohoto koncentrátu jsou:

- Hustota (při 20°C): $0,95 \text{ g/cm}^3$
- Hodnota pH: 8,5 – 9,2 (při 50 g/1 litr H_2O)
- Viskozita při 40 °C: 61 mm^2

Vliv kvality emulze na výsledný výlisek:

Hlavní vliv na čistotu výsledného dílce má čistota emulze, například nečistoty v podobě mazací vazelíny z vnějšího nástroje. Ke kontaminaci dochází při prasknutí bubnu a následném vypláchnutí expandovacího prostoru. Tato vazelína ulpívá na dílci a způsobuje více práce v následném ručním čištění výrobku. Tím se snižuje celkový takt pro zhotovení finálního výrobku. Vliv na kvalitu expandování má také koncentrace emulze a čistota demi vody. Pokud bych se použila čistá voda nebo špatně upravená demi voda, emulze by se vysrážela v podobě bílých sraženin a ztrácela by své mechanické vlastnosti. Při údržbě nástroje se musí dbát na důslednou kontaminaci expandovacího prostoru.

Měření koncentrace, pH, obsahu nitridů, mikroorganismů a tvrdosti vody lisovací emulze:

- Požadovaná hodnota vyhovující koncentrace emulze je mezi 5 - 6 %.

Postup měření koncentrace:

1. Nabrání kapátkem emulzi ze zásobníkové nádoby (viz obr. č. 27 vlevo)
2. Kápnout emulzi na měřicí místo na měřidle ATAGO a pomocí tlačítka START spustit měření (viz obr. č. 27 vpravo)
3. Výsledek měření zapsat do přiloženého formuláře
4. Provést vyhodnocení dle předepsaných hodnot v přiloženém formuláři.



Obrázek 27 Vlevo: odběr emulze, vpravo: nanesení měřené emulze na měřicí přístroj

Postup měření pH faktoru a obsahu nitridů:

1. Ponořit do nádrže s emulzí měřicí pH pásek a měřicí pásek obsahu nitridů.
2. Provést porovnání zbarvení pH pásku nebo pásku na obsah nitridů se stupnicí na mustru (viz obr. č. 28).
3. Výsledek se zapíše do přiloženého formuláře
4. Proveďte se vyhodnocení dle předepsaných hodnot v přiloženém formuláři.
5. Hodnota pH faktoru je stanovena v rozmezí pH 8 - 9, obsah nitridů 0 – 20



Obrázek 28 Porovnání zbarvení pH pásku na obsah nitridů se spektrem vzorkovníku

Vliv kvality emulze na výsledný výlisek:

Hlavní vliv na čistotu výsledného dílce má čistota emulze, například nečistoty v podobě mazací vazelíny z vnějšího nástroje. Ke kontaminaci dochází při prasknutí bubnu a následném vypláchnutí expandovacího prostoru. Tato vazelína ulpívá na dílci a způsobuje více práce v následném ručním čistění výrobku. Tím se snižuje celkový takt pro zhotovení finálního výrobku. Vliv na kvalitu expandování má také koncentrace emulze a čistota demi vody. Pokud by se použila čistá voda nebo špatně upravená demi voda, emulze by se vysrážela v podobě bílých sraženin a ztrácela by své mechanické vlastnosti. Při údržbě nástroje se musí dbát na důslednou kontaminaci expandovacího prostoru.

6. ZÁVĚR

6.1 Technicko – ekonomické zhodnocení

Rozbor stávající technologie lisování kapalinou (expandování) austenitických plechů včetně analýz chemického složení a mechanických vlastností vytváří předpoklady pro pochopení výrobního procesu v jeho komplexnosti od přípravy polotovaru až po finální produkt.

Popis procesu z pohledu popisu jednotlivých fází a částí zařízení tvoří základ řízení procesu z pohledu znalostí hydraulického systému.

Řešení stability procesu expandování je důležité pro hodnocení podnikových výkonových ukazatelů obsažených v rámci hodnocení celkové produktivity strojního zařízení. Případné výpadky procesu se přímo promítají do všech jeho ukazatelů: - disponibility, využití, výkonosti i kvality.

Popis konstrukce nástroje a hydraulických prvků je vzhledem k rozsahu práce omezen, vytváří předpoklady pro další pokračování předložené práce zejména pro stanovení parametrů pro prediktivní údržbu.

Identifikace jednotlivých vad v obrazové podobě umožňuje obsluze zařízení určovat příčinu vady a tím významně zkrátit dobu prostoje, významně zkracuje etapu hledání příčin vady a tím i snížení výroby neshodných výrobků.

6.2 Závěr pro realizaci v praxi

Výsledky práce budou využity při úpravě technologických návodek a aktualizaci analýzy rizik procesu (FMEA) výroby sušičkových bubnů.

Diplomová práce bude významným zdrojem pro projekty zaměřené na optimalizaci výroby a snižování nákladů na nejakost. Významný dopad má práce na zvyšování teoretických znalostí pracovníků spojených s obsluhou výrobního zařízení.

Práce otvírá otázky pro její další rozpracování zejména v části tvorby procesních programů a hlubší analýzy kritické zóny výlisku - oblasti přechodové části mezi rádiusem hrdla a válcové části výlisku.

Archivace procesních dat a jejich zařazení do podnikového programu statistického sledování dat bude významným podkladem pro snížení nákladů na opravy a pro stanovení dob údržby podle skutečného stavu výrobního zařízení založeném na sledování trendů a ukazatelů vycházejících se zavedených postupů statistického řízení procesů (SPC).

Práce vytváří zárodek pro definování podkladů pro zavedení dálkového dohledu nad procesem, určuje rozhodující parametry pro řízení procesu.

7. PODĚKOVÁNÍ

Děkuji prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc. za odborné vedení a věnovanému času při konzultacích. Dále Ing. Vladimíru Stehlíkovi, IWE. Jeho zkušenosti a rady byly cenným podkladem pro vypracování mé diplomové práce. Dále všem ostatním, kteří se i sebemenší radou podíleli na mé diplomové práci.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Mechanické charakteristiky ocelí* [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.ingjars.estranky.cz/file/238/mechanicke-charakteristiky-vybranych-oceli.pdf>.
- [2] *Chemické složení* [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
- [3] ŽÍDEK, M., V. DĚDEK a B. SOMMER. *Tváření oceli*. 1988. Praha: SNTL.
- [4] NOVOTNÝ, Josef, Karel MACHÁLEK. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971. ISBN 04-234-71.
- [5] *Učební texty pro mezinárodní svářečské inženýry a technology*. Plzeň: ŠKOLA WELDING s.r.o., 2012.
- [6] *Technologie svařování* [online]. 2012 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I__svarovani__kubicek.pdf
- [7] Hydroforming. *Expansor* [online]. 1999 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.expansor.nl>
- [8] *Demi voda* [online]. 2012 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: http://enpedie.cz/wiki/Demi_voda
- [9] Ampco metal. *Technika a trh* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/komponenty/ampco-metal>
- [10] Ampco 22. [Http://www.ampcometal.com](http://www.ampcometal.com) [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.ampcometal.com/cs/produkty/ampco-hlinikovy-bronz/ampco-22-3/>
- [11] Optický spektrometr. *Bruker* [online]. 2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/optical-emission-spectrometry/q4-tasman/overview.html>
- [12] Ocel nástrojová pro práce za studena. *Jkz* [online]. 2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/8>
- [13] *1.1730* [online]. 2012 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.1730>

- [14] *Tool steel: 1.1730* [online]. 2011 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z:
<http://www.steelss.com/Tool-steel/1-1730.html>
- [15] MORA. *Interní předpis letecké výroby* [online]. 1984 [cit. 2015-05-18].
- [16] FRISCHHERZ, Adolf; SKOP, Paul, KNOUREK, Jiří. *Technologie zpracování kovů*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1996. ISBN 80-902110-0-3
- [17] *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. 2008 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [18] REXROTH BOSCH GROUP. *Fluidní technika, průmyslová hydraulika*. Brno, 2013.